



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Aplicación de óxido de titanio y sulfato ferroso para
la remoción de arsénico III en el agua contaminada,
Moquegua, 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Catacora Arias, Flor Azucena (ORCID: 0000-0003-4843-7247)

Valdivia Ticona, Fernando Miguel (ORCID: 0000-0002-6945-8701)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis queridos padres por su sacrificio y esfuerzo, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar.

A todos mis familiares y amistades quienes con sus palabras de aliento me motivaron a ser mejor persona cada día.

Flor A. Catacora Arias

A mis padres y hermanos, de manera especial a mi madre Angelita quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Fernando M. Valdivia Ticona

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios, por estar siempre día a día en cada paso que damos, a nuestros padres por el inmenso apoyo que nos brindan.

De manera especial al Dr. Túllume Chavesta, Milton César por el gran apoyo y confianza quien fue parte del inicio, proceso y culminación de este proyecto de tesis.

Gracias al Ing. Erick Allcca, por su confianza, contribución y motivación en la realización de este proyecto de tesis en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua (UNAM).

Al Ing. Oscar Valencia de la empresa CONSULTORIA & MONITOREO PERU SAC por su colaboración para el uso de los equipos de monitoreo en campo, ya que ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A la casa de estudios Universidad privada Cesar Vallejo por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro proyecto de tesis.

Y a todas aquellas personas que olvidamos mencionar, pero que directa e indirectamente contribuyeron en el desarrollo del proyecto y formaron parte de su culminación, les agradecemos.

Índice de contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de Graficas	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización	12
3.3. Población, muestra y muestreo	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimiento.....	14
3.6. Método de análisis de datos	16
3.7. Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS	18
V. DISCUSIONES	25
VI. CONCLUSIONES	28
VII. RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS.....	30
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Valencia y forma del arsénico	6
Tabla 2. Tipos de tratamiento de remoción de As	9
Tabla 3. Matriz de Operacionalización de Variables.	12
Tabla 4. Hoja de registro para la conductividad eléctrica y turbidez.....	15
Tabla 5. Hoja de registro para la cuantificación de remoción de arsénico	16
Tabla 6. Resultados de pH, conductividad eléctrica y turbidez	18
Tabla 7. Análisis de varianza y prueba de medias para pH	18
Tabla 8. Prueba de comparación de medias LSD Fisher ara pH.	19
Tabla 9. Análisis de varianza y prueba de medias para conductividad eléctrica ...	20
Tabla 10. Prueba de comparación de medias LSD Fisher para conductividad eléctrica.	20
Tabla 11. Análisis de varianza y prueba de medias para turbidez	21
Tabla 12. Prueba de comparación de medias LSD Fisher para turbidez.	22
Tabla 13. Resultado de remoción de arsénico	23
Tabla 14. Análisis de varianza y prueba de medias remoción de arsénico	23
Tabla 15. Prueba de comparación de medias LSD Fisher para turbidez.	24

Índice de Graficas

Grafica 1. Distribución de arsénico en el mundo	5
Grafica 2. Formas de arsenito y arseniato en relación al pH.....	7
Grafica 3. Formas de TiO_2	7
Grafica 4. Diseño de investigación	11
Grafica 5. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre el pH.....	19
Grafica 6. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la conductividad eléctrica	21
Grafica 7. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la turbidez	22
Grafica 8. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la remoción de arsénico	24

Resumen

La presente investigación tiene como Objetivo general: Determinar que el óxido de titanio y sulfato ferroso mejoran la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021. Además, el Objetivo específico 1: Analizar los parámetros fisicoquímicos del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021. Objetivo específico 2: Evaluar los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021. Se utilizó un arreglo factorial 3x3 óxido de titanio (0, 5 y 10 g), sulfato ferroso (0, 15 y 30 g) con tres repeticiones, estas se agregaron a agua contaminada con arsénico III a una concentración de 0.05 mg/L. Los resultados muestran que, el uso de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre los parámetros: pH muestra que el agua es acidificada desde 3.43 a 4.91 pH, para la conductividad eléctrica se obtuvo valores de 2.58 y 17.81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para la turbidez se obtuvo valores de 74.07 y 500.67 UNT. La remoción del arsénico obtuvo niveles de 32 a 46.67 %, siendo un bajo porcentaje de remoción comparado con otros métodos.

Palabras claves: Arsénico, contaminación, agua, óxido de titanio, sulfato ferroso.

Abstract

The present research has as general objective: To determine that titanium oxide and ferrous sulfate improve the removal of arsenic III in contaminated water, Moquegua, 2021. In addition, Specific Objective 1: Analyze the physicochemical parameters of titanium oxide and ferrous sulfate that affect the removal of arsenic III in contaminated water, Moquegua, 2021. Specific objective 2: Evaluate the concentration levels of titanium oxide and ferrous sulfate that affect the removal of arsenic III in contaminated water, Moquegua, 2021. A 3x3 factorial arrangement of titanium oxide (0, 5 and 10 g), ferrous sulfate (0, 15 and 30 g) was used with three repetitions, these were added to water contaminated with arsenic III at a concentration of 0.05 mg / L. The results show that the use of titanium oxide and ferrous sulfate on the parameters: pH shows that the water is acidified from 3.43 to 4.91 pH, for electrical conductivity values of 2.58 and 17.81 were obtained $\mu\text{S} / \text{cm}$ and for turbidity values of 74.07 and 500.67 NTU were obtained. The removal of arsenic obtained levels from 32 to 46.67%, being a low percentage of removal compared to other methods.

Keywords: Arsenic, pollution, water, titanium oxide, ferrous sulfate.

I. INTRODUCCIÓN

El agua contaminada por metales pesados representa una seria amenaza para la vida humana debido a su toxicidad, naturaleza bioacumulativa y su persistencia en el medio ambiente (Rajeshkumar *et al.*, 2018, p. 627). Los metales pesados contaminan el agua subterránea y el agua superficial a través de un procesos y actividades antropogénicas por ejemplo: industriales, actividades agrícolas, mineras y de tráfico (Hashemi *et al.*, 2019, p. 486).

Uno de los elementos más ubicuos y tóxicos presentes en el ambiente es el arsénico (As). Este metal es el vigésimo elemento tóxico en la corteza terrestre, ocupa el puesto 14 de los componentes más abundantes en el agua, en la corteza terrestre se encuentra en una concentración de 1.5 a 3 mg/kg, es un metaloide cristalino cuyas propiedades se encuentran en un intermedio entre metales y metaloides (Ashraf *et al.*, 2019, p. 2).

En el continente asiático, el 59% de los países como India, Paquistán y Bangladesh presenta problemas de contaminación de As del agua subterránea, cuyas concentraciones son $> 10 \mu\text{g/L}$ y para el caso de Bangladesh la concentración alcanza valores $> 50 \mu\text{g/L}$ (Ravindra y Mor, 2019, p. 2), por lo que el consumo de esta agua contaminada genera que entre 200 000 a 270 000 personas fallecieran debido al cáncer en Bangladesh (Bhowmick *et al.*, 2018, p. 159).

En América del Sur al menos 4 millones de habitantes están expuestos a esta contaminación, entre los países con mayor contaminación son: Argentina (La Pampa, Córdoba y Buenos Aires), Chile (Arica, Antofagasta y Coquimbo) y Perú (Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna) (Bundschuh *et al.*, 2008, p. 137).

El As en el agua subterránea puede estar presente como oxianiones; arsenito en forma de As (III) y arseniato en forma de As (V), este último con menor presencia (Sarkar y Paul, 2016, p. 41).

Un estudio realizado por el Banco Mundial en el 2014, muestra que en el Perú el

50% de las fuentes de agua no cumplen los estándares de calidad establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. En el sector rural, los pobladores están expuestos y consumen agua contaminada por lo que el 8% de fallecimientos son ocasionadas por el consumo de agua contaminada (MINSA, 2019, p. 4).

En la actualidad se han reportado la presencia de contaminación de arsénico en los estudiantes de la I. E. Vidal Herrera Díaz del Centro Poblado de Yacango distrito de Torata - Moquegua, donde los niños presentan valores de 364 mg/dl de sangre, cuando lo tolerable es de 20 mg/dl de sangre, esta contaminación es debido a la presencia de arsénico tanto en el agua como en los alimentos de consumo (LaRepublica, 2019), el Centro Poblado de Yacango no cuenta con acceso a agua potable y los pobladores consumen agua obtenida en pozos y/o ojos de agua. Es por ello, es importante poder utilizar técnicas de tratamiento a fin de reducir la contaminación por arsénico en bien de la salud de los pobladores por lo que es necesario adoptar medidas de prevención promoviendo tecnologías de mitigación de la contaminación de arsénico en el agua.

En la actualidad se vienen desarrollando diferentes técnicas de descontaminación, dentro de los más importantes tenemos: oxidación, tecnología de membranas intercambio iónico, adsorción, coagulación – floculación, entre otros (Singh *et al.*, 2015, p. 252). La adsorción es una técnica en la que se utiliza un adsorbente a fin de eliminar sustancias solubles del agua como el As, las cuales se unen a la superficie del adsorbente mediante fuerzas electrostáticas o de van derWaals. Dentro de los materiales con capacidades más altas de adsorción están el carbón activado, alúmina activada, arenas, zeolitas naturales, resinas entre otros (Babaei, Mulligan y Rahaman, 2018, p. 4). El óxido de titanio (TiO₂) es un material barato y no tóxico, TiO₂ ha sido extensivamente usado para reducir As debido a la adsorción tanto de As (III) y As (V) (Wei *et al.*, 2016, p. 253).

Las formas inorgánicas del arsénico son altamente tóxicas y se encuentran en aguas naturales (Litter, 2010, p. 4), La absorción del As ocurre en el intestino delgado y se bioacumula en el hígado, riñones, corazón, sistema nervioso, pulmones, músculo, tracto gastrointestinal y bazo. El consumo crónico de agua

contaminada con arsénico incrementa el riesgo de accidentes vasculares cerebrales (AVC), hipertensión arterial (HTA), aumento en enfermedades cardiovasculares en la población pediátrica y diabetes mellitus tipo II (Saborío-Morales y Hidalgo-Murillo, 2015, p. 3), como también cáncer en los diferentes órganos piel, hígado, riñones, entre otros (Kuo et al., 2017, p. 1), por ello es necesario tomar medidas a fin de evitar el consumo de arsénico.

Por consiguiente en la presente investigación se plantea el **Problema general**: ¿Cómo el óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021?, seguidamente **PE1**: ¿De qué manera los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021? y **PE2**: ¿En qué medida los nivel de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021?.

En base a ello los objetivos planteados son: **Objetivo general**: Determinar que el óxido de titanio y sulfato ferroso mejoran la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021. **OE1**: Analizar los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021. **OE2**: Evaluar los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021.

Así mismo esta investigación plantea las siguientes hipótesis: **Hipótesis general**: La aplicación del óxido de titanio y sulfato ferroso mejoran significativamente la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021, **HE1**: Los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden durante la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021, **HE2**: Los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021.

II. MARCO TEÓRICO

La presencia de arsénico en aguas destinadas al consumo humano, hoy en días es un problema de salud pública a nivel mundial por sus posteriores consecuencias y daños a la salud (Tapia y Huanca, 2019, p. 9).

El arsénico es un elemento altamente tóxico, clasificado por la International Agency for Research on Cancer (IARC), como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de arsénico en el agua de bebida a cáncer en la piel, pulmón (Tapia y Huanca, 2019, p. 6).

En Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua y Perú se han detectado niveles elevados de arsénico no solo en pescado, sino también en leche de vaca, granos y hortalizas, incluidas la papa, cebolla, remolacha, calabaza, rábano, col y frijoles (Medina *et al.*, 2018, p. 95).

La exposición del ser humano a este tóxico constituye un problema de salud pública en muchas áreas geográficas de nuestro planeta, es por ello que se busca métodos de remoción del Arsénico, que permitan proveer a la población de agua segura, contribuyendo así con el desarrollo social y económico de los pueblos (Londoño, 2017, p.5).

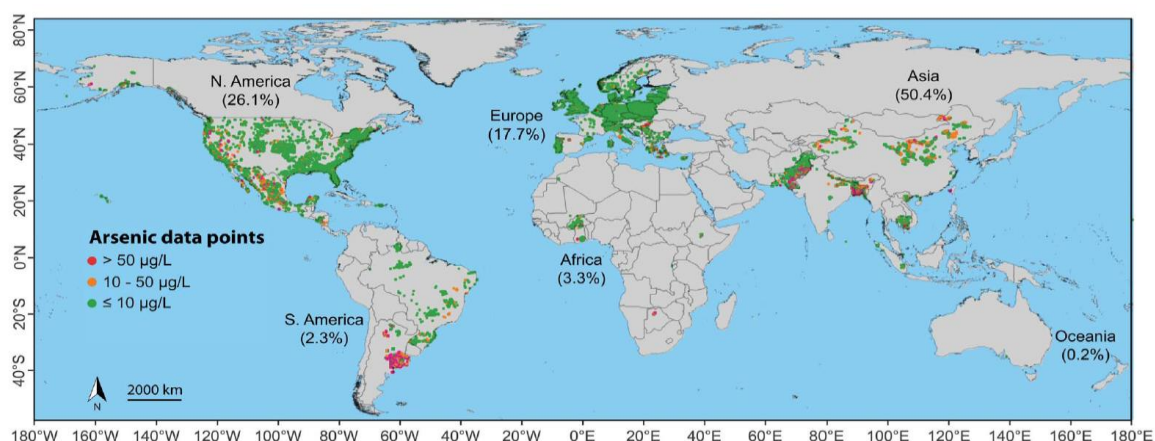
El arsénico (As) es un metaloide con el número atómico de 33 y masa atómica 74,92 mol/g, encontrado como un microelemento en la corteza de la tierra y es el elemento más abundante, en las cortezas continentales el contenido de arsénico medio generalmente varía de 2 mg a 3 mg/kilogramo. De 200 formas minerales de As, las principales pueden ser clasificadas como el arsenatos (~60%), los sulfitos y los sulfosales de arsénico (~20%), el resto son silicatos de arsénico (Sarkar y Paul, 2016, p. 631).

El arsénico se puede encontrar en diferentes estados de oxidación: arseniato As (V), arsenito As (III), As elemental (0) y arseniuro As (-III) (Airam *et al.*, 2015, p.104). El As (V) es el dominante en un ambiente oxidativos mientras que, As (III) es el

dominante en el ambiente que reduce. (Keshavarzi *et al.*, 2011, p. 136). Por otro lado Londoño (2017) menciona que el arsénico aparece en un amplio rango de concentraciones en aire, agua, suelos, vegetales y animales (p. 5).

Así mismo el arsénico es movilizado al medio ambiente a través de una combinación de procesos que incluyen tanto procesos naturales (meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas), y procesos antropogénicos (actividad minera, uso de combustibles fósiles, uso de pesticidas, herbicidas, desecantes y conservadores de la madera), se encuentra distribuido en la naturaleza tanto en agua superficial como en agua subterránea (Tapia y Huanca, 2019, p. 12).

Las rocas volcánicas provenientes de erupciones, en diferentes lugares pueden formar acuíferos con condiciones oxidativas moderadas ($Eh > 0$ mV, por lo que las concentraciones de As son elevadas, por ejemplo, las zonas como el cinturón volcánico del Pacífico, el cual comprende la cordillera de los Andes, entre otros. La erosión derivada de las rocas volcánicas, puede transportarse por procesos eólicos y fluviales a largas distancias, logrando alcanzar fuentes de agua. Las zonas ricas en minerales libera sulfuros de As predominantemente con valores bajos de pH y altamente oxidante. Además, el As puede presentarse en las aguas geotermales, además de fumarolas, como otras emisiones volcánicas, pueden contaminar el agua superficial como subterránea (Bundschuh y Litter, 2013, p. 3). La distribución de As en el mundo se muestra en la Grafica 1.



Grafica 1. Distribución de arsénico en el mundo

Fuente: Podgorski y Berg (2020, p.1)

Movilidad del arsénico: Bajo condiciones reductoras, el As puede ser movilizado por disolución reductiva a pH neutros. Sin embargo, el As desprendido puede ser inmovilizado si alcanza condiciones geoquímicas específicas (por ejemplo de pH y Eh), y puede precipitar durante la formación de hidróxidos de hierro y otros metales, o adsorberse sobre las superficies de éstos u otros minerales como los arcillosos (Bundschuh y Litter, 2013, p.10).

El As por medio de diferentes procesos es inamovilizado, ello depende de la geoquímica local y otras condiciones como son: ambientes oxidantes, reductores, pH, clima, entre otros. Esta inamovilización puede ocurrir en lugares donde se extrae el agua (in situ) o lejanos a su fuente, o si cambia la condición redox del medio, por ejemplo, si la liberación del As a partir de hidróxido metálicos sucede en medio oxidante a $\text{pH} \geq 8$, se tendrá elevadas concentraciones de As (Otero-Fariña *et al.*, 2015, p. 494; Bundschuh y Litter, 2013, p. 11).

Según Nriagu *et al.* (2007 p. 4), menciona que las características de arsénico, se encuentra ampliamente distribuido de forma natural, químicamente se presenta en la Tabla 1.

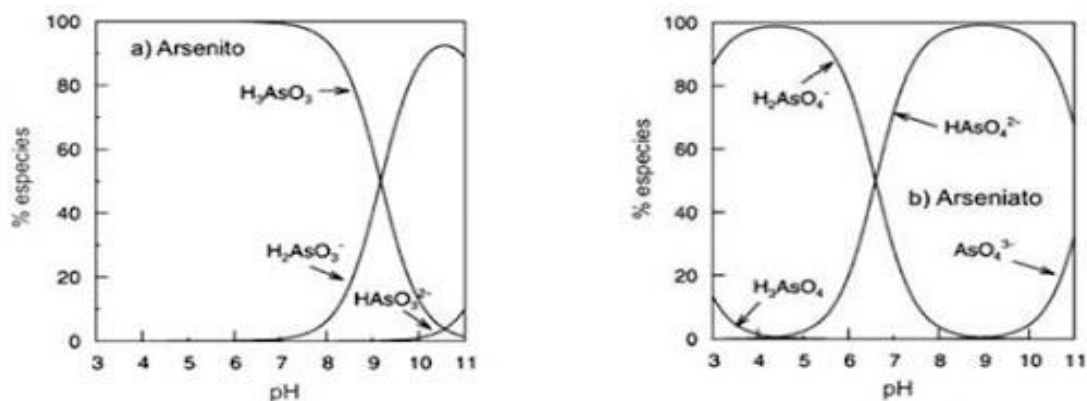
Tabla 1. Valencia y forma del arsénico

Estado	Valencia	Forma
Solido	0	
Solido	3	Arsenitos
Solido	5	Arseniatos
Gas	-3	Arsina

Fuente: Nriagu *et al.* (2007 p. 4)

De acuerdo con Tapia y Huanca (2019), el arsénico es un elemento singular entre los metaloides pesados y elementos formadores de oxianiones por su sensibilidad a moverse en los valores de pH típicos de las aguas subterráneas (pH 6,5-8,5). El estado As+5 predomina sobre As+3, encontrándose fundamentalmente como H_2AsO_4^- (arsenato) a valores de pH bajos (inferiores a 6,9), mientras a pH más alto, la especie dominante es HAsO_4^{2-} (en condiciones de extrema acidez, la especie dominante será H_3AsO_3 (arsenito), mientras que, en condiciones de extrema basicidad, la especie dominante será AsO_4^{3-} y condiciones reductoras a

pH inferior a 9,2, predominará la especie neutra (Gráfica 2) (p. 14).

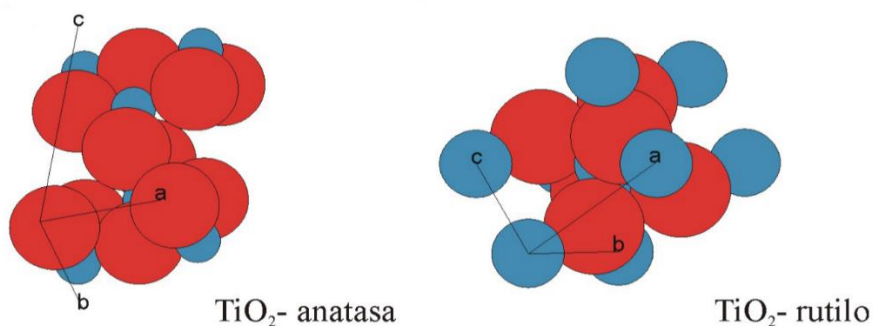


Gráfica 2. Formas de arsenito y arseniato en relación al pH

Fuente: (Airam et al., 2015)

La toxicidad en cualquiera de las formas de As, dependerá de: estado físico, solubilidad, pureza y, tasa de absorción. Además, se debe considerar que el As gaseoso es la forma más tóxica y, el As inorgánico presenta mayor toxicidad que el inorgánico (Medina *et al.*, 2018b, p. 95).

El óxido de titanio llamado también alotrópico, se encuentra de forma natural en tres fases cristalinas: la brookita (romboédrica), la anatasa y el rutilo (ambas tetragonales) (ver Gráfica). La brookita y la anatasa son fases metaestables, mientras que el rutilo es un material termodinámicamente muy estable. A estas fases hay que añadir otras dos, el TiO_2 -II (ortorrómbico) y el TiO_2 -III (hexagonal), obtenidas sintéticamente en condiciones de muy alta presión, que presentan durezas extremadamente elevadas (Pérez, 2013, p. 23).

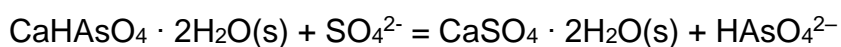
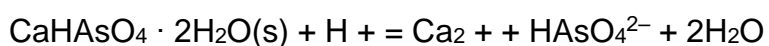
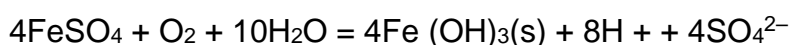


Gráfica 3. Formas de óxido de titanio

Fuente: Pérez (2013, p. 23)

Varias propiedades de TiO₂ como estabilidad química, precio bajo, no toxicidad y la resistencia a corrosión, el poder de oxidación fuerte, preparación fácil, elevada afinidad al As y su capacidad de fotooxidación inherente de As (III) en As (V) (Lata y Samadder, 2016). Cualitativamente, las capacidades de adsorción de especies de arsénico, mantienen el siguiente orden 3AsO₃> AH> 2HAsO₃> H₂AsO₃> H₂O> H₃AsO₃ para As (III) y 3AsO₄> AH> 2HAsO₄> H₂AsO₄> H₃AsO₄> H₂O para As (V), además, el H₂AsO₃ debería ser el predominante en As (III) a pH 8 y H₂AsO₄ debería serlo en As (V) (Lata y Samadder, 2016).

El sulfato ferroso como método de precipitación / coprecipitación se utilizó para la eliminación de arsénico del agua potable mediante sulfato ferroso como coagulante, con dosis de coagulante (0,5-60 mg/L) y el pH (4-9) (Baskan y Pala, 2009, p. 797). Zhao et al. (2020, p. 160), menciona que, los compuestos que contienen hierro son portadores minerales adecuados para la estabilización del As, mediante la incorporación de As en minerales que contienen Fe, los compuestos Fe-As juegan un papel clave en el secuestro de As del medio ambiente, por lo que su uso se basa en la presencia en la presencia de aniones (por ejemplo, SO₄²⁻, CO₃²⁻), en medio ácido, que proponen la oxidación de As (III) en As(V) mediante la formación siguiente:



Los procesos de tratamiento para la remoción de arsénico convencionales son principalmente los procesos de tratamiento fisicoquímicos. La tecnología fisicoquímica incluye precipitación de la coagulación, adsorción, intercambio iónico, filtración de la membrana, ósmosis inversa (RO), métodos reactivos permeables, etc. Además, hoy en día se han desarrollado tecnologías de tratamiento biológicas para tratar el agua contaminada con arsénico. El proceso de tratamiento biológico incluye fitorremediación, filtración biológica, microbiología, etc. (Sarkar y Paul, 2016 p. 45).

Tabla 2. Tipos de tratamiento de remoción de As

Tratamiento	Característica	Ventajas	Desventajas
Oxidación	El As (III) es oxidado a As (V) mediante, ozonización, aplicación de H_2O_2 , MnO_4 , Cl_2 , ClO_2 , FeO_4 , radiación UV, etc.	Fácil utilización (en situ). Relativamente económica.	Proceso lento. Si la oxidación es aplicada previa a otra técnica de retiro, eleva el coste operativo del tratamiento.
Coagulación, precipitación y filtración	Los coagulantes desestabilizan el AS en el agua, logrando que este precipite y pueda ser filtrado	El coste operativo bajo, simple de funcionar, puede trabajar sobre una amplia gama del pH, los coagulantes están fácilmente disponibles	Produce el lodo muy contaminado con As. No tan eficaz para As (III)
Adsorción	El As es adsorbido en la superficie sólida de adsorbentes	Reduce el As(V) eficazmente. Mejora el gusto y el olor	Adsorbentes son al regenerado periódicamente Para obtener una adsorción realmente eficaz, se requieren una preoxidación y la filtración
Intercambio iónico	Oxianiones de As son sustituidos por los iones de resinas sintéticas	Proceso de retiro eficaz.	Otros aniones o los sólidos suspendidos pueden interferir en el proceso.
Filtración de la membrana	Osmosis	Elimina otros contaminantes.	El coste de establecimiento inicial es alto.

Fuente: Sarkar & Paul (2016 p.45)

La adsorción tiene varias técnicas de tratamiento han sido usados para quitar los contaminantes del agua, entre todos los enfoques propuestos, la adsorción es uno de los métodos más populares y se considera actualmente como un efectiva, eficiente y económica (QU, 2008, p. 2).

Al respecto, Dotto y McKay (2020, p. 3), mencionan que la separación por adsorción se efectúa poniendo en contacto las soluciones que se van a tratar con adsorbentes. Existen numerosas formas de lograr el contacto fluido / sólido, como son:

- a) Adsorción en vasos agitados. La adsorción por lotes en un recipiente agitado representa quizás es la forma más sencilla de lograr el contacto fluido / adsorbente. Una cantidad fija de adsorbente de un estado conocido se agrega a un volumen de solución de una concentración de soluto conocida en un recipiente cerrado. La agitación se proporciona mediante agitadores giratorios

para asegurar que el adsorbente las partículas están completamente suspendidas y la concentración de adsorbato se mantiene uniforme a lo largo de la solución.

- b)** Adsorción en tanques de flujo continuo. Este tipo de operación se utiliza a menudo en aguas residuales. Los adsorbentes en forma de polvo, se agregan directamente para eliminar una determinada especie de contaminante.
- c)** Adsorción en lecho fijo. La adsorción en lecho fijo consiste en hacer pasar una solución a través de una columna empacada con adsorbentes, y se aplica comúnmente para eliminar trazas de contaminantes de una solución líquida.
- d)** Adsorción en lecho móvil. A diferencia de la adsorción en lecho fijo, la adsorción en lecho móvil es se lleva a cabo con fases sólidas (adsorbentes) y fluidas en movimiento. Los movimientos de ambas fases pueden ser paralelas, contracorriente o perpendiculares (flujo cruzado); aunque el patrón de contracorriente se utiliza en la práctica.

En la oxidación se han probado numerosos oxidantes químicos solos o en combinación con adsorción (carbón activado) o con procesos de membrana para una reducción optimizada de contaminantes. Los procesos de oxidación química probados incluyen ozono (O_3) y la correspondiente Oxidación Avanzada Procesos (AOP), O_3 / H_2O_2 , O_3 / UV para mejorar el hidroxilo radical ($\bullet OH$), luz ultravioleta (UV) combinada con H_2O_2 para producir $\bullet OH$ (Lescano *et al.*, 2012, p. 361).

La irradiación (UV) ultravioleta es una solución para la eliminación de As (III), en presencia de oxidantes como oxígeno e iones férrico favorece la oxidación de arsénico trivalente, el proceso de fotocátalisis TiO_2 -asistido también fue empleado para oxidarse As (III) en la presencia de oxígeno (Nazari, Radzinski y Ghahreman, 2017, p. 9).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Según Álvarez (2020, p. 4) indica que el tipo de investigación es aplicada cuando esta se orienta a conseguir un nuevo conocimiento destinado que permita soluciones de problemas prácticos. Por ello el presente trabajo de investigación podrá ser utilizado como una forma de tratamiento de agua contaminada con arsénico.

Por su profundidad es correlacional ya que se evaluará el efecto del uso de los dos factores antes mencionados y por su naturaleza de los datos manejados es cuantitativa debido a que se utilizaran datos y/o valores numéricos (Rojas Cairampoma, 2015).

3.1.2. Diseño de la investigación

La presente investigación corresponde a un diseño experimental, puesto que los datos se obtienen por observación de hechos condicionados por el investigador, en donde se manipula una variable y se espera la respuesta de otra variable (Álvarez, 2020, p.4). Por ello se evalúa el efecto de dos factores independientes como son: Oxido de titanio (A) y Sulfato ferroso (B), sobre la variable dependiente remoción de arsénico (pH, conductividad eléctrica, turbidez).

A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃
A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃
A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃

Grafica 4. Diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

3.2. Variables y operacionalización

Tabla 3. Matriz de Operacionalización de Variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO ESTADÍSTICO	
Independiente						
Oxido de titanio	El TiO ₂ es de gran interés tecnológico, este óxido, alotrópico, se encuentra en diversas fases cristalinas: rutilo, anatasa, brookita (Maimone, Camero y Blanco, 2015, p. 190)	Se adquirirá oxido de titanio (IV) de 99% de pureza de Merck	Relación de aplicación de Oxido de titanio / Sulfato ferroso	Concentración	Cuantitativa, ya que se utilizará DCA con arreglo factorial de repeticiones y de existir diferencias se evaluará los resultados mediante análisis de la Prueba LSD	
Sulfato ferroso	Es un coagulante que garantiza que las partículas coloidales se agrupen (Rivas S; Menés G; Rómulo A, 2013, p. 175)	Se adquirirá Sulfato ferroso heptahidratado de 99.5 % de pureza de EMSURE		Concentración		
Dependiente						
Remoción de arsénico	Es la reducción de la concentración de arsénico inicial sobre el arsénico final de forma porcentual (Acuña-Piedra y Araya-Obando, 2016)	Se empleará agua destilada a la que se añadirá trióxido de arsénico hasta una concentración de arsénico de 0.05 mg/L en vasos de precipitado, inicialmente se medirán la concentración de arsénico, turbidez, conductividad eléctrica y pH. Luego se adicionará oxido de titanio (0, 5 y 10 g/L) y sulfato ferroso (0, 15 y 30 mg/L), que será colocado en un test de jarras a velocidad de 100 rpm durante 30 min. Luego se volverá a medir la concentración de arsénico, turbidez, conductividad eléctrica y pH. La remoción de arsénico será calculada por la diferencia porcentual de la concentración inicial y final.	Concentración de arsénico y demás parámetros adecuados	Porcentaje de remoción pH Conductividad Eléctrica Turbidez		

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población es definida como el conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra y que cumple con una serie de criterios predeterminados (Arias *et al.*, 2016, p. 202).

La presente investigación tiene como población al agua contaminada con compuestos de As (III), esto es a partir de uso de agua destilada con adición de óxido de arsénico As_2O_5 , hasta alcanzar una concentración de 0.05 mg/L.

3.3.2. Muestra

La muestra es un subgrupo que tiene un carácter representativo de los casos o elementos de una población (Alan y Cortez, 2018, p.104).

Para la presente investigación se utilizó 27 litros de agua contaminada que han distribuidos en vasos de precipitación de 1 litro durante el experimento.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de investigación son procedimientos específicos que se utilizan en determinadas áreas de la ciencia para la obtención de datos, esta se engloba dentro de un método (Sánchez *et al.*, 2018, p. 120).

Por lo tanto, la investigación se engloba en un método experimental donde el procedimiento que se adopta es para tener un control riguroso de las variables: Observación directa que se utilizará para el caso del laboratorio donde se realizará la recolección de los datos en campo y observación indirecta donde se utilizará para el caso del servicio de análisis del contenido de arsénico.

El instrumento de recolección de datos es una herramienta que forma parte de una técnica de recolección de datos (Sánchez, *et al.*, 2018 p.78), para este caso se ha

utilizado una ficha de registro de campo, informe de ensayo de laboratorio, cuaderno de campo y registro fotográfico.

Validez y confiabilidad del instrumento

Para Sánchez, *et al.*, (2018), la validez es el grado en que un método o técnica sirve para medir con efectividad lo que supone que está midiendo en caso (p.124). En este caso las muestras serán analizadas por BHIOS LABORATORIO SRL, esta cuenta con la acreditación del Instituto nacional de calidad (INACAL) y sus actividades técnicas están cubiertas por un sistema de aseguramiento de la calidad de acuerdo a la NTP ISO/IEC 17025:2017, del mismo modo se procederá en validar el instrumento por juicio de profesionales con denominación de postgrado.

Según Sánchez,*et al.*, (2018), la confiabilidad de un instrumento implica las cualidades de consistencia, estabilidad, exactitud, tanto de las técnicas, los instrumentos y los datos de investigación, (p.35).

- Cuaderno de campo: se registrarán in situ los valores obtenidos en campo y algunas observaciones. Los equipos utilizados para la obtención de datos en campo cuentan con certificado de calibración vigente.
- Ficha de registro de campo: proporcionada por el laboratorio acreditado por INACAL, en esta se registran los parámetros evaluados, la hora, la fecha de muestre, responsable del muestreo y demás datos relevantes
- Informe de ensayo: este es un documento donde se detalla los valores obtenidos en las muestras ya analizadas por el laboratorio acreditado por INACAL.
- Registro fotográfico: formato de fotos obtenidas en el procedimiento de la recolección de muestras en campo

3.5. Procedimiento

Se utilizarán 9 tratamientos, donde el agua destilada se contaminó con As₂O₅ (Sigma Aldrich, 99% pureza), con una concentración de arsénico inicial de 0.05

mg/L, a la cual se midió utilizando el multiparamétrico WTW modelo PCD650, introduciendo el electrodo en un vaso de precipitado de 1 L, la turbidez será analizada de acuerdo a la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 en la que 10 ml de la muestra serán colocados en la porta muestra de turbidímetro HACH modelo 2020WE.

El óxido de titanio será pesado en una balanza AND modelo FX-3000i (0, 5 y 10 g), de la misma manera el sulfato ferroso (0, 15 y 30 g), las cuales será añadida a los vasos de precipitado de 1 L con agua contaminada, luego se colocarán los vasos en un agitador Lavibond ET 740 a una velocidad de 100 rpm durante 30 min, luego se evaluará el pH, conductividad eléctrica y turbidez con los protocolos descritos anteriormente.

Tabla 4. Hoja de registro para la conductividad eléctrica y turbidez

Tratamiento	Oxido de titanio	Sulfato ferroso	pH	Conductividad eléctrica (uS/cm)	Turbidez (NTU)
1	0 g	0 g			
2	0 g	15 g			
3	0 g	30 g			
4	5 g	0 g			
5	5 g	15 g			
6	5 g	30 g			
7	10 g	0 g			
8	10 g	15 g			
9	10 g	30 g			

Fuente: Elaboración propia.

La medición de arsénico será cuantificada en BHIOS LABORATORIO de la ciudad de Arequipa con registro en INACAL, esta medición se desarrollará mediante la norma EPA 2007 que describe la determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, para lo cual se utilizará 1 L de muestra patrón de agua embotellada para identificar el contenido inicial de arsénico. El agua tratada será nuevamente embotellado y transportada al laboratorio en un total de 27 muestras, utilizada del agua a tratar la remoción porcentual será determinada según lo propuesto por (Chávez Quijada y Miglio Toledo, 2011) por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remocion} = \left(\frac{C_o - C_f}{C_o} \right) * 100\%$$

Tabla 5. Hoja de registro para la cuantificación de remoción de arsénico

Tratamiento	Oxido de titanio	Sulfato ferroso	Contenido inicial de arsénico (mg/L)	Contenido final de arsénico (mg/L)	Remoción de arsénico (%)
1	0 g	0 g			
2	0 g	15 g			
3	0 g	30 g			
4	5 g	0 g			
5	5 g	15 g			
6	5 g	30 g			
7	10 g	0 g			
8	10 g	15 g			
9	10 g	30 g			

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Método de análisis de datos

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de evaluar el óxido de titanio utilizada en diferentes concentraciones (0, 5 y 10 g/L) y sulfato ferroso a (0, 15 y 30 g/L), en agua destilada que previamente ha sido contaminada con oxido de arsénico hasta una concentración de 0.05 mg de As/L y se evaluarán las propiedades fisicoquímicas como turbidez, pH y conductividad eléctrica, además el contenido de As. Se utilizará un DCA con arreglo factorial de 3x3 con 3 repeticiones y de existir diferencias se evaluará los resultados mediante el análisis de la Prueba LSD utilizando el software INFOSTAT y para los gráficos SigmaPlot, el diseño y modelo estadístico detallamos a continuación.

Modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} : es la valor u observación de las características químicas en la i-esima de óxido

de titanio y j-esima de sulfato ferroso

i: 0, 5, 10 mg/L

j: 0, 15, 30 mg/L

μ : Media general.

τ_i : Efecto de la i-esima de óxido de titanio

β_j : Efecto de la j-esima de sulfato ferroso

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso

ε_{ij} : Error residual

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación propone utilizar insumos como son el óxido de titanio la cual, es utilizado en la actualidad en diferentes procesos de purificación debido a su poder oxidante y el sulfato ferroso, que se utiliza como floculante en los procesos de tratamiento de agua, esto no representan riesgo a la salud debido a que las concentraciones se encuentran por debajo de lo recomendados. Además, los resultados obtenidos tendrán la rigurosidad de que los equipos e instrumentos utilizados se encuentren operativos y los insumos no se encuentren vencidos. Una vez concluido el estudio, se recomendará poder utilizarlo en agua obtenidas de forma natural, además que ese estudio deberá de realizarse considerando los diferentes metales presentes en el agua.

IV. RESULTADOS

La tabla 6, muestra los resultados obtenidos en la investigación correspondientes a las variables dependiente remoción de arsénico (pH, conductividad eléctrica y turbidez), tanto la media como la desviación estándar, además de las diferencias significativas por tratamiento de acuerdo al análisis de varianza y prueba de medias LSD Fisher.

Tabla 6. Resultados de pH, conductividad eléctrica y turbidez

Tratamiento	Oxido de titanio	Sulfato ferroso	pH	ce ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidez (UNT)
T1	0 g	0 g	5.74 \pm 0.280 ^a	2.90 \pm 0.265 ^e	0.27 \pm 0.069 ^e
T2	0 g	15 g	3.62 \pm 0.061 ^{cd}	5.62 \pm 0.026 ^d	74.07 \pm 3.252 ^d
T3	0 g	30 g	3.43 \pm 0.012 ^e	9.63 \pm 0.006 ^c	111.67 \pm 10.263 ^{cd}
T4	5 g	0 g	4.91 \pm 0.076 ^b	15.07 \pm 0.850 ^b	94.63 \pm 31.420 ^d
T5	5 g	15 g	3.64 \pm 0.006 ^c	5.59 \pm 0.006 ^d	116.33 \pm 4.041 ^{bcd}
T6	5 g	30 g	3.46 \pm 0.006 ^{de}	9.23 \pm 0.252 ^c	499.33 \pm 4.041 ^a
T7	10 g	0 g	4.88 \pm 0.015 ^b	17.81 \pm 1.531 ^a	186.67 \pm 95.296 ^b
T8	10 g	15 g	3.64 \pm 0.012 ^c	5.58 \pm 0.030 ^d	170.33 \pm 14.572 ^{bc}
T9	10 g	30 g	3.46 \pm 0.021 ^{de}	9.53 \pm 0.038 ^c	550.67 \pm 73.528 ^a

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 7, muestra el análisis de varianza para el pH, donde se obtuvieron: el óxido de titanio (<0.0001 p-valor), el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), la interacción del óxido de titanio y el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), Molina Arias (2017, p. 378) manifiesta que al obtenerse p-valor <0.05 existe diferencia significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula, así se demuestra que existe diferencia entre los tratamientos.

Tabla 7. Análisis de varianza y prueba de medias para pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	561.57	8	70.2	197.16	<0.0001
Oxido de titanio	121.82	2	60.91	171.08	<0.0001
Sulfato ferroso	183.33	2	91.67	257.47	<0.0001
Oxido de titanio*Sulfato ferroso	256.42	4	64.11	180.06	<0.0001
Error	6.41	18	0.36		
Total	567.98	26			

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 8 muestra los resultados de la media y el error estándar para el pH ordenados de forma decreciente para la interacción oxido de titanio y sulfato ferroso, en la que T1 (patrón) presenta un pH de 5.74 \pm 0.280 pH y el menor valor

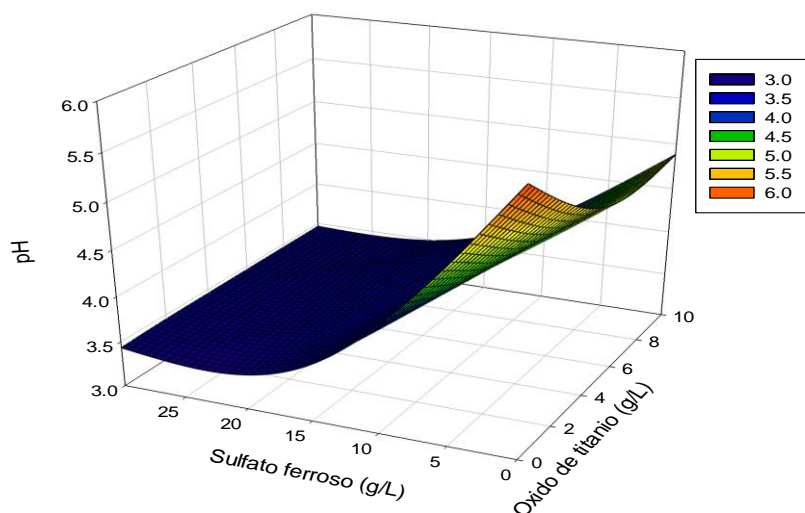
de pH obtenido es debido a la adición de sulfato ferroso de 30 g/L valores entre 3.43 a 3.46 pH, los cuales son estadísticamente iguales entre sí, para el caso de la adición de óxido de titanio sin sulfato ferroso se muestra que en 5 y 10 g/L.

Tabla 8. Prueba de comparación de medias LSD Fisher para pH.

Oxido de titanio	Sulfato ferroso	Medias	n	E.E.	
0	0	5.74	3	0.06	A
5	0	4.91	3	0.06	B
10	0	4.88	3	0.06	B
5	15	3.64	3	0.06	C
10	15	3.64	3	0.06	C
0	15	3.62	3	0.06	CD
10	30	3.46	3	0.06	DE
5	30	3.46	3	0.06	DE
0	30	3.43	3	0.06	E

Fuente: Elaboración propia.

Para el pH, el T1 muestra un valor 5.74 ± 0.280 pH, la adición tanto de sulfato ferroso a una dosis de 30 g (T3, T6 y T9), alcanza valores entre 3.43 a 3.46 pH y la mayor dosis de óxido de titanio sin adición de sulfato ferroso es de 4.88 pH. La tendencia de los resultados se muestra en la Grafica 5, por lo que el pH se ve reducido por en mayor manera por el uso de sulfato ferroso que por oxido de titanio.



Grafica 5. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre el pH.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 9, muestra el análisis de varianza para la conductividad eléctrica, donde se obtuvieron: el óxido de titanio (<0.0001 p-valor), el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), la interacción del óxido de titanio y el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), Molina Arias

(2017, p. 378) manifiesta que al obtenerse p-valor <0.05 existe diferencia significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula, así se demuestra que existe diferencia entre los tratamientos.

Tabla 9. *Análisis de varianza y prueba de medias para conductividad eléctrica*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	561.57	8	70.2	197.16	<0.0001
Oxido de titanio	121.82	2	60.91	171.08	<0.0001
Sulfato ferroso	183.33	2	91.67	257.47	<0.0001
Oxido de titanio*Sulfato ferroso	256.42	4	64.11	180.06	<0.0001
Error	6.41	18	0.36		
Total	567.98	26			

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10, muestra los resultados de la media y el error estándar para la conductividad eléctrica ordenados de forma decreciente para la interacción oxido de titanio y sulfato ferroso, T1 (patrón) presenta una conductividad eléctrica de 2.9 $\mu\text{S/cm}$, por lo que, la adición de óxido de titanio y sulfato ferroso incrementan la conductividad eléctrica ello debido a los iones de titanio (2.5 mS/átomo) y de hierro (10 mS/átomo), obteniéndose que a mayor adición de óxido de titanio se incrementa la conductividad eléctrica T4 (17.81 $\mu\text{S/cm}$) y T7 (15.07 $\mu\text{S/cm}$), con respecto al sulfato ferroso, el mayor incremento no es igual al del oxido de titanio obteniéndose en T3 (9.63 $\mu\text{S/cm}$), además que las interacciones no generan valores.

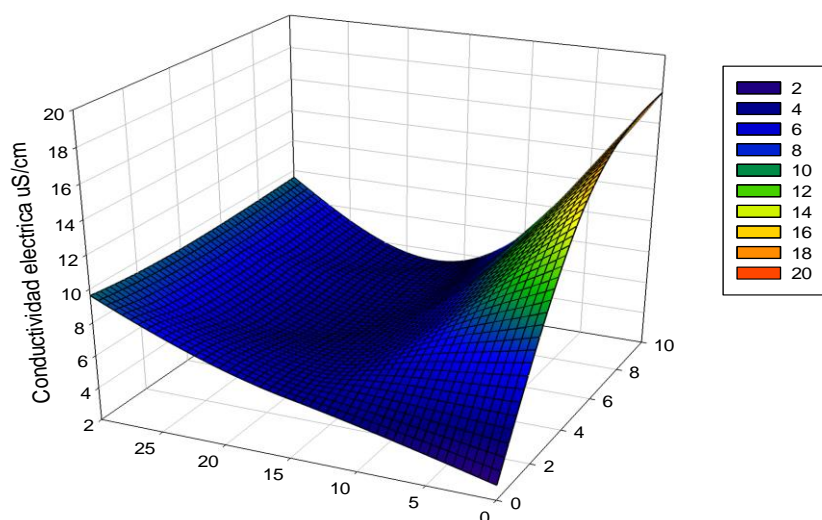
Tabla 10. *Prueba de comparación de medias LSD Fisher para conductividad eléctrica.*

Oxido de titanio	Sulfato ferroso	Medias	n	E.E.	
10	0	17.81	3	0.34	A
5	0	15.07	3	0.34	B
0	30	9.63	3	0.34	C
10	30	9.53	3	0.34	C
5	30	9.23	3	0.34	C
0	15	5.62	3	0.34	D
5	15	5.59	3	0.34	D
10	15	5.58	3	0.34	D
0	0	2.9	3	0.34	E

Fuente: Elaboración propia.

Para la conductividad eléctrica el valor patrón es $2.90 \pm 0.265 \mu\text{S/cm}$, los mayores obtenidos se dieron en T7 con $17.81 \pm 1.531 \mu\text{S/cm}$, y T4 con $15.07 \pm 0.850 \mu\text{S/cm}$, diferentes entre sí y con el resto de tratamientos estos valores se dan por la adición de óxido de titanio (10 y 5 g respectivamente) con 0 g de sulfato ferroso. Los T3,

T6 y T9 obtuvieron valores comprendidos entre 9.23 ± 0.252 a 9.63 ± 0.006 $\mu\text{S/cm}$, que son estadísticamente iguales entre sí, el comportamiento de los resultados se muestra en Grafica 6.



Grafica 6. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11, muestra el análisis de varianza para turbidez, donde se obtuvieron: el óxido de titanio (<0.0001 p-valor), el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), la interacción del óxido de titanio y el sulfato ferroso (<0.0001 p-valor), Molina Arias (2017, p. 378) manifiesta que al obtenerse p-valor <0.05 existe diferencia significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula, así se demuestra que existe diferencia entre los tratamientos.

Tabla 11. Análisis de varianza y prueba de medias para turbidez.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	885840	8	110730	62.93	<0.0001
Oxido de titanio	278212.9	2	139106.4	79.06	<0.0001
Sulfato ferroso	474110.4	2	237055.2	134.73	<0.0001
Oxido de titanio*Sulfato ferroso	133516.7	4	33379.18	18.97	<0.0001
Error	31671.56	18	1759.53		
Total	917511.5	26			

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 12 muestra los resultados de la media y el error estándar de turbidez ordenados de forma decreciente para la interacción oxido de titanio y sulfato ferroso, T1 (patrón) presenta una turbidez de 0.27 UNT, por lo que, tanto la adición de óxido de titanio y sulfato ferroso incrementan la turbidez por encima de valores

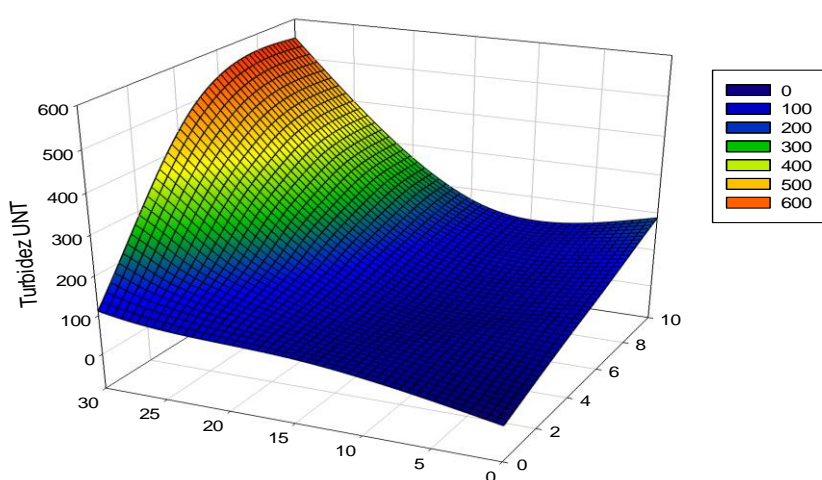
permitidos, siendo que, los valores de interacción T6 y T9 (499.33 y 550.67 UNT respectivamente) estadísticamente son iguales entre sí pero diferente a los demás tratamientos.

Tabla 12. Prueba de comparación de medias LSD Fisher para turbidez.

Oxido de titanio	Sulfato ferroso	Medias	n	E.E.	
10	30	550.67	3	24.22	A
5	30	499.33	3	24.22	A
10	0	186.67	3	24.22	B
10	15	170.33	3	24.22	BC
5	15	116.33	3	24.22	BCD
0	30	111.67	3	24.22	CD
5	0	94.63	3	24.22	D
0	15	74.07	3	24.22	D
0	0	0.27	3	24.22	E

Fuente: Elaboración propia.

Para la turbidez, T6 y T9 cuya adición de sulfato ferroso en ambos es de 30 g y para el óxido de titanio es de 5 y 10 g respectivamente, los valores de turbidez fueron de 499.33 ± 4.041 y 550.67 ± 73.528 UNT, ambos valores son estadísticamente iguales entre sí y diferente con el resto de tratamientos. El comportamiento de los resultados muestra que, la sola adición de sulfato ferroso como la de óxido de titanio en las dosis planteadas generan incrementos menores que a la mezcla de ambos (interacción).



Grafica 7. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la turbidez

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 13, muestra los resultados obtenidos en la investigación correspondientes a la variable dependiente remoción de arsénico, además, las diferencias significativas por tratamiento de acuerdo al análisis de varianza y prueba de medias (anexo 3), donde el T1 al no haberse adicionado óxido de titanio ni sulfato ferroso será excluido del análisis de varianza puesto que su valor es 0.

Tabla 13. Resultado de remoción de arsénico

Tratamiento	Óxido de titanio	Sulfato ferroso	Concentración de As (mg/L)	Remoción As (%)
T1	0 g	0 g	0.05	0 ^a
T2	0 g	15 g	0.034	32.±0 ^d
T3	0 g	30 g	0.033	34±0 ^d
T4	5 g	0 g	0.0267	46.67±1.155 ^b
T5	5 g	15 g	0.0293	41.33±3.055 ^c
T6	5 g	30 g	0.0293	41.33±2.309 ^c
T7	10 g	0 g	0.0273	45.33±1.155 ^b
T8	10 g	15 g	0.0297	40.67±1.155 ^c
T9	10 g	30 g	0.0310	38.00±3.464 ^c

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 14, muestra el análisis de varianza para remoción de arsénico, donde se obtuvieron: el óxido de titanio (<0.0001 p-valor), el sulfato ferroso (0.0001 p-valor), la interacción del óxido de titanio y el sulfato ferroso (0.2606 p-valor), Molina Arias (2017, p. 378) manifiesta que al obtenerse p-valor <0.05 existe diferencia significativa, la interacción óxido de titanio y sulfato ferroso es >0.05 por lo que no existe diferencia significativa, pero para consolidar el resultado se utilizó los resultados de la prueba de medias tanto del óxido de titanio como del sulfato ferroso. Se rechaza la hipótesis nula tanto para el óxido de titanio como para el sulfato ferroso, y se acepta la hipótesis nula para la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso.

Tabla 14. Análisis de varianza y prueba de medias remoción de arsénico

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	542.5	7	77.5	20.22	<0.0001
Óxido de titanio	396.94	2	198.47	51.78	<0.0001
Sulfato ferroso	128.67	2	64.33	16.78	0.0001
Óxido de titanio*sulfato ferroso	16.89	3	5.63	1.47	0.2606
Error	61.33	16	3.83		
Total	603.83	23			

Fuente: Elaboración propia.

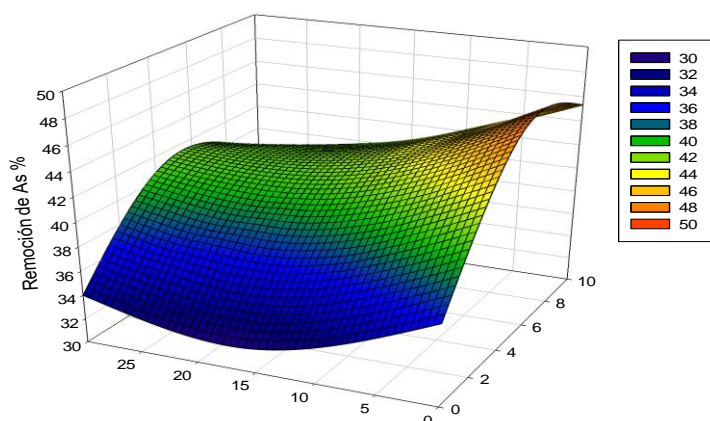
La tabla 15 muestra los resultados de la media y el error estándar de remoción de arsénico ordenados de forma decreciente, considerando que T1 (patrón) no presenta remoción de arsénico de los resultados, la remoción varía entre 32 a 46.67%, siendo que la adición de óxido de titanio remueve el mayor porcentaje de arsénico 45.33 a 46.67 % que estadísticamente son iguales entre sí, la adición del sulfato ferroso tiene la menor remoción entre 32 y 34 % por lo que solo su uso no sería recomendable.

Tabla 15. *Prueba de comparación de medias LSD Fisher para remoción de arsénico.*

Oxido de titanio	sulfato ferroso	Medias	n	E.E.	
0	0	sd	0	sd	A
5	0	46.67	3	1.13	B
10	0	45.33	3	1.13	B
5	30	41.33	3	1.13	C
5	15	41.33	3	1.13	C
10	15	40.67	3	1.13	C
10	30	38	3	1.13	C
0	30	34	3	1.13	D
0	15	32	3	1.13	D

Fuente: Elaboración propia.

La mayor remoción de arsénico se dio en T4 y T7 con $46.67 \pm 1.155\%$ y $45.33 \pm 1.155\%$ que son iguales estadísticamente y diferente con los demás tratamientos, y la menor remoción se dio en T2 y T3 con 32% y 34%, por lo que el uso de óxido de titanio incrementa la remoción del arsénico, debiéndose realizar otras pruebas a fin de mejorar la remoción, puesto que teniendo en cuenta que el valor inicial de arsénico fue de 0.05 mg/L a descendido a 0.034 en T4 (tabla 13).



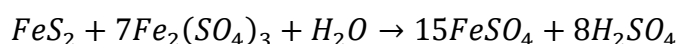
Grafica 8. Resultado de la interacción de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre la remoción de arsénico.

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIONES

Los parámetros físico químicos se ven alterados por la adición de óxido de titanio y sulfato ferroso, tanto el pH como la turbidez alcanzan valores por encima de lo recomendado, solo la turbidez se mantiene dentro del valor recomendado por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Para el pH los resultados del estudio presentaron valores entre 3.43 y 5.74 pH, de los cuales estos no se encuentran dentro de los niveles recomendados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM sub categoría B, que establece los niveles permitido entre 6.5 a 8.5 pH, la acidificación se da por el desdoblamiento que sufre el sulfato ferroso $FeSO_4$ por lo que la presencia del H_2SO_4 acidifica el agua, (Peláez et al., 2013, p. 212), siendo la reacción química:



El dióxido de titanio por su parte no altera significativamente el pH, estudios demuestran que la variación es de ~1 pH (Canón y Pedroza, 2016, p. 41), por lo que el uso de un tratamiento de agua que reduzca el pH a valores por debajo de lo permitido por la normatividad, se deberá estabilizar el pH utilizando soluciones básicas incrementando los costos.

Se llevaron a cabo diferentes pruebas, al añadir 0.2 g TiO_2 en 20ml agua de la llave, el pH se vio disminuido de 8.07 a 7.18 mientras que al añadirlo al agua destilada el pH disminuyo de 6.95 a 3.93. El agregar dióxido de titanio disminuye el pH en ambos casos causando mayor impacto en el agua destilada. Con esto se infiere que el cambio de pH está ligado a las características del medio acuoso en el que se encuentre. El cambio de pH menor en el agua de la llave indica que el contenido de sales disueltas puede neutralizar la disminución de pH que causa el dióxido de titanio. (Córdova, 2013, p. 78).

Para la conductividad eléctrica los resultados del estudio presentaron valores entre 5.58 a 17.81 $\mu S/cm$, de los cuales estos se encuentran dentro de los niveles recomendados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM sub categoría A (1500

$\mu\text{S/cm}$). La conductividad es la capacidad de transportar corriente eléctrica en el agua, esta medida se relaciona con la concentración de iones provenientes de sales disueltas y materia inorgánica (alcalinos, carbonatos, cloruros y sulfuros) en forma de electrolitos como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , considerando la oxidación del $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ y la precipitación de $\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)$. Aguas utilizadas para consumo en Cabanillas - Puno muestran valores de 400 a 500 $\mu\text{S/cm}$ (Blanco, 2018), río Vizcachas – Moquegua entre 115 a 147 $\mu\text{S/cm}$ (Pinto, 2018, p. 50), represa Pasto Grande de Moquegua entre 600 a 800 $\mu\text{S/cm}$ (GRM, 2015, p. 17), por lo que los valores obtenidos en la investigación muestra que existe otros elementos que incrementan la conductividad del agua aparte del titanio y hierro.

Córdova (2013) Menciona en cuanto a la conductividad que, en el agua de la llave, se observó una disminución. de 481 $\mu\text{S/cm}$ a 443 $\mu\text{S/cm}$. Para el agua destilada tenemos un aumento de. 1.49 $\mu\text{S/cm}$ a 67.8 $\mu\text{S/cm}$ (p. 78).

Para la turbidez los resultados del estudio presentaron valores entre 74.07 a 550.67 UNT, estos resultados están por encima de los niveles recomendados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM sub categoría A (5 UNT), la OMS recomienda valores menores de 2 UNT. Otros resultados obtenidos muestran una reducción de la turbidez inicial 266 UNT a 19 UNT utilizando el sulfato ferroso (Matos et al., 2007, p. 549).

Así mismo Vielman (2019) menciona que coagulante sulfato ferroso no generó un cambio significativo en la turbiedad y en los sólidos suspendidos de las aguas. Es decir, incumple el acuerdo gubernativo 236-2006, con una concentración de 170 miligramos por litro (mg/L) para el parámetro de sólidos suspendidos que es de 100 miligramos por litro (mg/L). Esto se debe a que el sulfato ferroso no pudo realizar la coagulación, ya que no desestabilizó las partículas coloidales que se encuentran en suspensión. Esto impidió el crecimiento y aglomeración de los flóculos para aumentar el tamaño y peso para sedimentar con facilidad (p.64).

También se menciona que, si no se añade suficiente dosis del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de las partículas, por lo que la formación de los micro

flóculos sería escasa. Esto daría una turbiedad residual elevada (Vielman, 2019, p. 62), Por ello el resultado muestra que el uso del sulfato ferroso sin material suspendido incrementa la turbidez en vez de reducirla y este valor es mayor si se combina con el óxido de titanio.

De la remoción de arsénico, tomando una concentración inicial de 0.05 mg/L, logro reducir en un máximo de 45% dejando una concentración de 0.023 mg/L, siendo un valor por encima del nivel recomendados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM sub categoría A (0.01), considerando que en otros estudios se logran obtener remociones desde el 75% por método de fotoxidación solar SORAS (Chávez Quijada y Miglio Toledo, 2011, p. 311), 95 % al incorporar cloruro férrico y del 80% con sulfato de aluminio (Francisca y Carro Pérez, 2014, p. 183), la utilización de quitosano en 12.5% (Montero-Álvarez, Paredes-Bautista y Rivera-Morales, 2010, p. 138), la efectividad de las investigaciones realizadas están sujetas a la concentración inicial, pH, presencia de otros compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Se demuestra que el uso de titanio incrementa la remoción.

En la figura 8 se muestra los datos en cuanto al porcentaje de remoción de arsénico en el agua, debido a otros estudios realizados en diversos países en cuanto a la remoción de este metal, se puede observar que los compuestos que contienen Hierro tienen un mayor impacto a la hora de obtener resultados positivos, tal es el caso de (Rivera *et al.*, 2011) menciona que a partir del uso de cloruro férrico como coagulante en dosis de 8.5mg/L se obtuvo un porcentaje de remoción de 93% en aguas subterráneas, sin embargo para el presente estudio realizado, se pudo determinar que los compuestos que contienen titanio también tienen una mayor eficiencia, con lo cual se debería reevaluar las condiciones del agua a fin de combinar compuestos e insumos que podar mejorar la remoción (p. 45).

VI. CONCLUSIONES

- Tras los análisis realizados, podemos deducir que la aplicación de Oxido de Titanio y Sulfato Ferroso si mejoran la remoción de arsénico III en el agua contaminada, mas no sería la opción más indicada, ya que la reducción de arsénico III en una concentración de 0.05 mg/L, se logró el 46.67% a una concentración de 0.023 mg/L siendo este valor no recomendado para el consumo humano, de esta manera el uso de Oxido de Titanio se debe complementar con otros tipos de tratamiento para obtener resultados óptimos.
- Mencionar que el uso de óxido de titanio y sulfato ferroso sobre los parámetros físico químicos como pH, muestran que el agua es acidificada desde 3.43 a 4.91 pH (T3 y T4) valores no recomendados por la normatividad y en el caso de utilizarse se deberá realizar un posterior tratamiento para la regulación del nivel. Para la conductividad eléctrica se obtuvo valores de 2.58 y 17.81 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos valores cumplen la normatividad. Para el caso de la turbidez se obtuvo valores de 74.07 y 500.67 UNT no recomendados por la normatividad, por lo que también se deberá realizar un posterior tratamiento con el fin de regular el nivel.
- En cuanto a las concentraciones del Oxido titanio y Sulfato ferroso para la remoción del arsénico III se obtuvieron niveles de 32 a 46.67 %, siendo un moderado porcentaje de remoción comparado con otros métodos, pero es preciso resaltar que el uso de óxido de titanio demostró tener la capacidad de remover el arsénico.

VII. RECOMENDACIONES

- Mejorar el sistema de remoción de arsénico combinando un método alternativo como fotoxidación solar SORAS, electro coagulación, entre otros.
- Utilizar agua superficial para evaluar el real comportamiento de remoción de arsénico en el agua.
- Evaluar el sistema de remoción no solamente en sistemas estáticos, sino también en sistemas dinámicos utilizando columnas de purificación a fin de poder investigar el caudal, tiempo de saturación de óxido de titanio, entre otras.
- Realizar trabajos de la cinética de adsorción del arsénico a fin de poder encontrar parámetros óptimos.

REFERENCIAS

1. ACUÑA-PIEDRA, A. y ARAYA-OBANDO, A., 2016. *Potential natural low-cost adsorbents for the removal of arsenic in drinking water in Costa Rica Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica*. Tecnología en Marcha, no. 506. DOI 10.18845/tm.v29i6.2899.
2. Airam, E., Montoya, R., Hernández, L.E.M., Luévanos, M.P. y Balagurusamy, N., 2015. *Impacto Del Arsénico En El Ambiente Y Su Transformación Por Microorganismos*. Terra Latinoamericana, vol. 33, no. 2, pp. 103-118. ISSN 0187-5779.
3. Alan, D. y Cortez, L., 2018. *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica* [en línea]. Machala, Ecuador: s.n. ISBN 9789942240934. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>.
4. Álvarez, A., 2020. *Clasificación de las Investigaciones*. En: C. de N.I. Universidad de LIMA, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas (ed.) [en línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>.
5. Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M.Á. y Miranda-Novales, M.G., 2016. The research protocol III. Study population. *Revista Alergia Mexico* [en línea], vol. 63, no. 2, pp. 201-206. ISSN 00025151. DOI 10.29262/ram.v63i2.181. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>.
6. Ashraf, S., Siddiqa, A., Shahida, S. y Qaisar, S., 2019. *Titanium-based nanocomposite materials for arsenic removal from water: A review*. Heliyon, vol. 5, no. 5, pp. e01577. ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e01577.
7. Babaei, Y., Mulligan, C.N. y Rahaman, M.S., 2018. *Removal of arsenic (III) and arsenic (V) from aqueous solutions through adsorption by Fe/Cu nanoparticles*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 93, no. 1, pp. 63-71. ISSN 10974660. DOI 10.1002/jctb.5320.
8. Baskan, M.B. y Pala, A., 2009. Determination of arsenic removal efficiency by

- ferric ions using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 166, no. 2-3, pp. 796-801. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2008.11.131.
9. Bhowmick, S., Pramanik, S., Singh, P., Mondal, P., ChatterjeE, D. y Nriagu, J., 2018. *Arsenic in groundwater of West Bengal, India: A review of human health risks and assessment of possible intervention options*. *Science of the Total Environment*, vol. 612, pp. 148-169. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.216.
 10. Blanco, M., 2018. *Estudio de la calidad de agua potable para consumo humano en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román, departamento de Puno.* , pp. 54.
 12. Bundschuch, J. y Litter, M., 2013. *Situación de América Latina con relación al problema global del arsénico.* . S.l.: s.n.,
 13. Bundschuh, J., Nicolli, H.B., Scientific, N. y Blarasin, M.T., 2008. *Distribución de arsénico en la región sudamericana.* , no. January.
 14. Canón, L. y Pedroza, S., 2016. *Evaluación del potencial de la fotocátalisis mediante técnicas de radiación y compuestos foto-oxidantes, como alternativa de la potabilización de agua en zonas rurales*. S.l.: Universidad Santo Tomás.
 15. Chávez Quijada, M.L. y Miglio Toledo, M., 2011. *Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano*. *Soc. Quím. Perú*, vol. 77, no. 4, pp. 307-314.
 16. Córdova, L., 2013. *Desinfección y remoción de arsénico del agua por fotocátalisis heterogénea* [en línea]. S.l.: Centro de investigación en materiales avanzados departamento de estudios de posgrad. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/404>.
 17. Dotto, G.L. y Mckay, G., 2020. *Current scenario and challenges in adsorption for water treatment*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 103988. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2020.103988.

18. Francisca, F.M. y Carro Pérez, M.E., 2014. *Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 30, no. 2, pp. 177-190. ISSN 01884999.
19. GRM, 2015. *Resultado del monitoreo participativo de la calidad del agua en el ámbito del sistema hidráulico Pasto Grande*. 2015. Moquegua: Gobierno Regional Moquegua.
20. Hashemi, M., Sadeghi, A., Saghi, M., Aminzare, M., Raeisi, M., Rezayi, M. y Sany, S.B.T., 2019. *Health Risk Assessment for Human Exposure to Trace Metals and Arsenic via Consumption of Hen Egg Collected from Largest Poultry Industry in Iran*. Biological Trace Element Research, vol. 188, no. 2, pp. 485-493. ISSN 15590720. DOI 10.1007/s12011-018-1437-4.
21. Keshavarzi, B., Moore, F., Mosaferi, M. y Rahmani, F., 2011. *The Source of Natural Arsenic Contamination in Groundwater, West of Iran*. Water Quality, Exposure and Health, vol. 3, no. 3-4, pp. 135-147. ISSN 1876-1658. DOI 10.1007/s12403-011-0051-x.
22. Kuo, C.C., Moon, K.A., Wang, S.L., Silbergeld, E. y Navas-Acien, A., 2017. *The association of arsenic metabolism with cancer, cardiovascular disease, and diabetes: A systematic review of the epidemiological evidence*. Environmental Health Perspectives, vol. 125, no. 8. ISSN 15529924. DOI 10.1289/EHP577.
23. LAREPUBLICA, 2019. Moquegua: Sesenta niños de colegio tienen exceso de arsénico en sangre | La República. *Grupo La Republica*.
24. Lata, S. y Samadder, S.R., 2016. *Removal of arsenic from water using nano adsorbents and challenges: A review*. Journal of Environmental Management, vol. 166, pp. 387-406. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2015.10.039.
25. Lescano, M., Zalazar, C., Cassano, A. y Brandi, R., 2012. *Kinetic modeling of arsenic (III) oxidation in water employing the UV/H₂O₂ process*. Chemical Engineering Journal, vol. 211-212, pp. 360-368. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2012.09.075.

26. Litter, M.I., 2010. *Actualización La problemática del arsénico en la Argentina : el HACRE*. Rev. Soc. Argent. Endocrinol. Ginecol. Reprod.(SAEGRE), vol. XVII, no. 2, pp. 5-10.
27. Londoño, C.A., 2017. Análisis científico. [en línea], pp. 1-26. Disponible en: <https://www.empocabal.com.co/wp-content/uploads/2017/06/Resumen-arsenico.pdf>.
28. Maimone, A., Camero, S. y Blanco, S., 2015. *Caracterización Del Óxido De Titanio Obtenido Mediante Tratamiento Térmico Y Anodizado Electroquímico*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V, vol. 30, pp. 189-200. ISSN 07984065.
29. Matos, A.T., Cabanellas, C.F.G., Cecon, P.R., Brasil, M.S. y Mudado, C.S., 2007. *Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro*. Engenharia Agrícola, vol. 27, no. 2, pp. 544-551. ISSN 0100-6916. DOI 10.1590/s0100-69162007000300025.
30. Medina, M., Robles, P., Mendoza, M. y Torres, C., 2018a. Arsenic Intake : Impact in Human Nutrition and Health. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [en línea], vol. 35, no. 1, pp. 93-102. DOI 10.17843/rpmesp.2018.351.3604.93. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>.
31. MINSA, 2019. *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico*. Ministerio de Salud. Lima. Perú:
32. Molina Arias, M., 2017. *¿Qué significa realmente el valor de p?* Pediatría de Atención Primaria, vol. 19, no. 76, pp. 377-381. ISSN 11397632.
33. Montero-Álvarez, Paredes-Bautista y Rivera-Morales, 2010. *Utilización de quitosana para la remoción de arsénico (As) del agua*. Superficies y vacío, vol. 23, pp. 136-139. ISSN 1665-3521.
34. Nazari, A.M., Radzinski, R. y Ghahreman, A., 2017. *review of arsenic*

- metallurgy: treatment of arsenical minerals and the immobilization of arsenic. Hydrometallurgy*, vol. 174, pp. 258-281. ISSN 0304386X. DOI 10.1016/j.hydromet.2016.10.011.
35. Nriagu, J., Bhattacharya, P., Mukherjee, A., Bundschuh, J., Zevenhoven, R. y Loeppert, R., 2007. *Arsenic in soil and groundwater: an overview*. Arsenic in Soil and Groundwater Environment - Biogeochemical Interactions, Health Effects and Remediation, vol. 9, no. 06, pp. 3-60. DOI 10.1016/s0927-5215(06)09001-1.
 36. Otero-Fariña, A., Gago, R., Antelo, J., Fiol, S. y Arce, F., 2015. *Surface complexation modelling of arsenic and copper immobilization by iron oxide precipitates derived from acid mine drainage*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 67, no. 3, pp. 493-508. ISSN 14053322. DOI 10.18268/BSGM2015v67n3a12.
 37. Peláez, H., Prada, M., Caicedo, G., Moreno, C. y Márquez, M., 2013. *Influencia de la relación inicial de Fe^{3+}/Fe^{2+} , en un proceso de biodesulfurización de carbones en suspensión*. Contaminación y Ambiente, vol. 29, no. 2, pp. 219-230.
 38. Pérez, A., 2013. *Aspectos Generales De La Oxidación Del Titanio Con Láser*. S.I.: Universitat de Barcelona.
 39. Pinto, E., 2018. *Evaluación de los metales pesados en los ríos Vizcachas y Chilota Distrito de Chojota, Provincia General Sanchez Cerro, Región de Moquegua*. S.I.: UNSA-Perú.
 40. Podgorski, J. y Berg, M., 2020. *Global threat of arsenic in groundwater*. Science, vol. 368, no. 6493, pp. 845-850. ISSN 10959203. DOI 10.1126/science.aba1510.
 41. QU, J., 2008. Research progress of novel adsorption processes in water purification: A review. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 20, no. 1, pp. 1-13. ISSN 10010742. DOI 10.1016/S1001-0742(08)60001-7.

42. Rajeshkumar, S., Liu, Y., Zhang, X., Ravikumar, B., BAI, G. y LI, X., 2018. *Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China*. Chemosphere, vol. 191, no. November 2018, pp. 626-638. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.10.078.
43. Ravindra, K. y Mor, S., 2019. *Distribution and health risk assessment of arsenic and selected heavy metals in Groundwater of Chandigarh, India*. Environmental Pollution, vol. 250, pp. 820-830. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2019.03.080.
45. Rivas S; Menés G; Rómulo A, 2013. *Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara Treatment for coagulation-flocculation to effluent from Ernesto Che Guevara Company of Nickel*. Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), pp. 173-183.
46. Rivera, L., Pérez, S., Domínguez, A., Gelover, S., Gómez, A. y Hernández, C., 2011. *Análisis técnico y económico del proceso de coagulación con cloruro férrico para remover arsénico de agua subterránea*. [en línea], vol. 4, no. 1, pp. 46-56. Disponible en: http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1718/OT_069.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
47. Rojas Cairampoma, M., 2015. *Tipos de investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación*. Revista Electronica de Veterinaria, vol. 16, no. 1, pp. 21-24. ISSN 16957504.
48. Saborío Morales, L. y Hidalgo Murillo, L.F., 2015. *Consumo de arsénico y riesgo cardiovascular*. Medicina Legal de Costa Rica, vol. 32, no. 1, pp. 114-118. ISSN 1409-0015.
49. Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K., 2018. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* [en línea]. Primera. Lima. Perú: s.n. ISBN 9786124735141. Disponible en:

<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>.

50. Sarkar, A. y Paul, B., 2016. *The global menace of arsenic and its conventional remediation - A critical review*. Chemosphere, vol. 158, pp. 37-49. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.05.043.
51. Singh, R., Singh, S., Parihar, P., Singh, V.P. y Prasad, S.M., 2015. *Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review*. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 112, pp. 247-270. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2014.10.009.
52. Tapia, N. y Huanca, M., 2019. *Remoción de arsénico en agua proveniente del río Tambo sector Quelgua con nanopartículas de óxido de hierro soportadas en Zeolita* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de San Agustín. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10259>.
53. Vielman, R., 2019. *Determinación del pH óptimo de coagulación, mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las aguas residuales de una industria de alimentos*. Emecanica.Ingenieria.Usac.Edu.Gt [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>.
54. WEI, Z., Liang, K., WU, Y., ZOU, Y., ZUO, J., Arriagada, D.C., PAN, Z. y HU, G., 2016. *The effect of pH on the adsorption of arsenic(III) and arsenic(V) at the TiO₂ anatase [101] surface*. Journal of Colloid and Interface Science, vol. 462, pp. 252-259. ISSN 10957103. DOI 10.1016/j.jcis.2015.10.018.
55. ZHAO, Z., Zhang, H., Wang, X., YAO, D., HOU, H., SHI, Y., CHEN, J., WANG, L., MA, M., LIU, J. y Crittenden, J.C., 2020. *The mechanism of microwave-induced mineral transformation and stabilization of arsenic in realgar tailings using ferrous sulfate*. Chemical Engineering Journal, vol. 393, pp. 124732. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2020.124732.

ANEXOS

Anexo N° 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			Dimensiones	Indicadores	Unid.
P. General	O. General	H. de investigación	Variable	D. Concepto	D. Operacional			
			Independiente					
¿Cómo el óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021?,	Determinar que el óxido de titanio y sulfato ferroso mejoran la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021	La aplicación del óxido de titanio y sulfato ferroso mejoran significativamente la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021	Oxido de Titanio	El TiO ₂ es de gran interés tecnológico, este óxido, alotrópico, se encuentra en diversas fases cristalinas: rutilo, anatasa, brookita (Maimone, Camero y Blanco, 2015)	Se adquirió oxido de titanio (IV) de 99% de pureza de Merck	Relación aplicación de Oxido de titanio / Sulfato ferroso	Concentración	mg/L
			Sulfato Ferroso	Es un coagulante que garantiza que las partículas coloidales se agrupen (Rivas S; Menés G; Rómulo A, 2013)	Se adquirió Sulfato ferroso heptahidratado de 99.5 % de pureza de EMSURE		Concentración	mg/L
	O. Específicos	H. nula	Variable					
			Independiente					
¿De qué manera los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021?	Analizar los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021	Los parámetros físicos y químicos del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden durante la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021	Remoción de arsénico III	Es la reducción de la concentración de arsénico inicial sobre el arsénico final de forma porcentual (Acuña-Piedra y Araya-Obando, 2016)	Se empleará agua destilada a la que se añadirá trióxido de arsénico hasta una concentración de arsénico de 0.05 mg/L en vasos de precipitado, inicialmente se medirán la concentración de arsénico, turbidez, conductividad eléctrica y pH. Luego se adicionará oxido de titanio (0, 5 y 10 g/L) y sulfato ferroso (0, 15 y 30 mg/L), que será colocado en un test de jaras a velocidad de 100 rpm durante 30 min. Luego se volverá a medir la concentración de arsénico, turbidez, conductividad eléctrica y pH. La remoción de arsénico será calculada por la diferencia porcentual de la concentración inicial y final.	Concentración de arsénico y demás parámetros adecuados	Porcentaje de remoción	%
¿En qué medida los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021?	Evaluar los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso que inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021.	Los niveles de concentración del óxido de titanio y sulfato ferroso inciden en la remoción de arsénico III en el agua contaminada, Moquegua, 2021						Porcentaje de remoción

Anexo N° 2

Tabla de datos obtenidos

Oxido de titanio	Sulfato ferroso	pH	ce	turbidez	As inicial	As final	% de remoción
0	0	6.05	3.2	0.35	0.05	0.05	0
0	0	5.68	2.7	0.23	0.05	0.05	0
0	0	5.5	2.8	0.23	0.05	0.05	0
0	15	3.61	5.59	70.4	0.05	0.034	32
0	15	3.69	5.63	76.6	0.05	0.034	32
0	15	3.57	5.64	75.2	0.05	0.034	32
0	30	3.44	9.63	109	0.05	0.033	34
0	30	3.44	9.62	123	0.05	0.033	34
0	30	3.42	9.63	103	0.05	0.033	34
5	0	5	15.7	124	0.05	0.027	46
5	0	4.86	14.1	98.4	0.05	0.027	46
5	0	4.88	15.4	61.5	0.05	0.026	48
5	15	3.64	5.58	112	0.05	0.031	38
5	15	3.65	5.59	117	0.05	0.029	42
5	15	3.64	5.59	120	0.05	0.028	44
5	30	3.45	9.1	504	0.05	0.03	40
5	30	3.46	9.52	497	0.05	0.028	44
5	30	3.46	9.07	497	0.05	0.03	40
10	0	4.88	19.44	294	0.05	0.027	46
10	0	4.9	16.4	154	0.05	0.028	44
10	0	4.87	17.6	112	0.05	0.027	46
10	15	3.63	5.58	175	0.05	0.03	40
10	15	3.65	5.55	182	0.05	0.029	42
10	15	3.63	5.61	154	0.05	0.03	40
10	30	3.48	9.49	476	0.05	0.033	34
10	30	3.44	9.56	553	0.05	0.03	40
10	30	3.47	9.55	623	0.05	0.03	40

Anexo N° 3

Validación de Instrumentos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): Mg. Erik Edwin Allcca Alca

Presente:

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Me es grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo participante del TALLER DE ELABORACION DE TESIS en la Educación de la Universidad Cesar Vallejo, en la sede de Lima Este, y siendo requisito la validación de los instrumentos con las cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación, gracias a la cual optaré el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de mi proyecto de investigación es "**Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021**", y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El expediente de validación, adjunto al presente, contiene:

- 1. Anexo N°01:** Matriz de operacionalización.
- 2. Anexo N°02:** Diagrama del método para la Aplicación de Oxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021.
- 3. Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III
- 4. Anexo N°04:** Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.

Firma

CATACORA ARIAS FLOR A.

DNI: 74231193

Firma

VALDIVIA TICONA FERNANDO M.

DNI: 70657061

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- Apellidos y Nombres del validador: Mg. ALICIA ALCA ERICK EDWIN
- 1.1. Cargo e institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
- 1.2. Especialidad del validador: MAESTRIA EN GERENCIA, AUDITORIA Y GESTIÓN AMBIENTAL
- 1.3. Título de la investigación: "Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021"
- 1.4. "Nombre del instrumento motivo de evaluación:
 Anexo N°01: Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia.
 Anexo N°02: Diagrama del método para "APLICACIÓN DE ÓXIDO DE TITANIO Y SULFATO FERROSO PARA LA REMOCION DE ARSENICO III EN EL AGUA CONTAMINADA, MOQUEGUA, 2021"
 Anexo N°03: Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III en el agua contaminada

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENTE 00-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41 -60 %	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresando de manera coherente y lógica según a las leyes y principios científicos					X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de la actualidad					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica en los aspectos de calidad y claridad.					X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre la problemática los objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde según la metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis					X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD (marcar X)

- ☒ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- ☐ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

¿Qué aspectos se tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

IV. PROMEDIO DE VALORIZACIÓN

93 %

Moquegua, 30 de Agosto del 2021



DNI: 41057252
CEL: 988017979



CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): Mg. Giovanna Judith Alcca Alca

Presente:

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Me es grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo participante del TALLER DE ELABORACION DE TESIS en la Educación de la Universidad Cesar Vallejo, en la sede de Lima Este, y siendo requisito la validación de los instrumentos con las cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación, gracias a la cual optaré el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de mi proyecto de investigación es "**Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021**", y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El expediente de validación, adjunto al presente, contiene:

1. **Anexo N°01:** Matriz de operacionalización.
2. **Anexo N°02:** Diagrama del método para la Aplicación de Oxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021.
3. **Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III
4. **Anexo N°04:** Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.


Firma

CATACORA ARIAS FLOR A.
DNI: 74231193


Firma

VALDIVIA TICONA FERNANDO M.
DNI: 70657061

**CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN****I. DATOS GENERALES**

o Apellidos y Nombres del validador: Mg. Giovanna Judith Allica Alca

1.1. Cargo e institución donde labora: Universidad Jorge Basadre Grohman

1.2. Especialidad del validador: Estadística e Informática

1.3. Título de la investigación: "Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021"

1.4. " Nombre del instrumento motivo de evaluación:

Anexo N°01: Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia.

Anexo N°02: Diagrama del método para "APLICACIÓN DE ÓXIDO DE TITANIO Y SULFATO FERROSO PARA LA REMOCION DE ARSENICO III EN EL AGUA CONTAMINADA, MOQUEGUA, 2021"

Anexo N°03: Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III en el agua contaminada

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENTE 00-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41 -60 %	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					x
2. OBJETIVIDAD	Está expresando de manera coherente y lógica según a las leyes y principios científicos					x
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de la actualidad					x
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica en los aspectos de calidad y claridad.					x
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					x
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					x
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					x
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre la problemática los objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					x
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde según la metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis					x
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					x

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD (marcar X)
☒

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.

☐

El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

¿Qué aspectos se tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

IV. PROMEDIO DE VALORIZACIÓN

95 %

Moquegua, 30 de Agosto del 2021

DNI: 41961477
CEL: 927577702



CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): Mg. Paulino Flavio Rios Zapana

Presente:

Asunto: “Validación de instrumento a través de Juicio de expertos”

Me es grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo participante del TALLER DE ELABORACION DE TESIS en la Educación de la Universidad Cesar Vallejo, en la sede de Lima Este, y siendo requisito la validación de los instrumentos con las cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación, gracias a la cual optaré el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de mi proyecto de investigación es “**Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021**”, y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El expediente de validación, adjunto al presente, contiene:

1. **Anexo N°01:** Matriz de operacionalización.
2. **Anexo N°02:** Diagrama del método para la Aplicación de Oxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021.
3. **Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III
4. **Anexo N°04:** Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.


Firma

CATACORA ARIAS FLOR A.

DNI: 74231193


Firma

VALDIVIA TICONA FERNANDO M.

DNI: 70657061

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- **Apellidos y Nombres del validador:** Mg. Ríos Zapana Paulino Flavio
- 1.1. Cargo e institución donde labora:** Universidad Nacional de Moquegua
- 1.2. Especialidad del validador:** Maestría en Ciencias Ambientales
- 1.3. Título de la investigación:** "Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021"
- 1.4. " Nombre del instrumento motivo de evaluación:**
 - Anexo N°01:** Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia.
 - Anexo N°02:** Diagrama del método para "APLICACIÓN DE ÓXIDO DE TITANIO Y SULFATO FERROSO PARA LA REMOCION DE ARSENICO III EN EL AGUA CONTAMINADA, MOQUEGUA, 2021"
 - Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III en el agua contaminada.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENTE 00-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41 -60 %	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresando de manera coherente y lógica según a las leyes y principios científicos					X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de la actualidad					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica en los aspectos de calidad y claridad.					X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre la problemática los objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde según la metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis					X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD (marcar X)

- ☒ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- ☐ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

¿Qué aspectos se tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

IV. PROMEDIO DE VALORIZACIÓN

95 %


Msc. Ing. Paulino Flavio Ríos Zapana
Especialistas Temas Ambientales
CIP: 45854

Moquegua, 30 de Agosto del 2021

DNI: 79265730

CEL: 986456727

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): Mg. Milton César Túllume Chavesta

Presente:

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Me es grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo participante del TALLER DE ELABORACION DE TESIS en la Educación de la Universidad Cesar Vallejo, en la sede de Lima Este, y siendo requisito la validación de los instrumentos con las cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación, gracias a la cual optaré el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de mi proyecto de investigación es "**Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021**", y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El expediente de validación, adjunto al presente, contiene:

1. **Anexo N°01:** Matriz de operacionalización.
2. **Anexo N°02:** Diagrama del método para la Aplicación de Oxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021.
3. **Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III
4. **Anexo N°04:** Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.


Firma

CATACORA ARIAS FLOR A.

DNI: 74231193


Firma

VALDIVIA TICONA FERNANDO M.

DNI: 70657061



CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- o Apellidos y Nombres del validador: Dr. Tillume Chavesta, Milton César
- 1.1. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.2. Especialidad del validador: Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
- 1.3. Título de la investigación: "Aplicación de Óxido de Titanio y Sulfato Ferroso para la Remoción de Arsénico III en el Agua Contaminada, Moquegua, 2021"
- 1.4. "Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- Anexo N°01: Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia.
- Anexo N°02: Diagrama del método para "APLICACIÓN DE ÓXIDO DE TITANIO Y SULFATO FERROSO PARA LA REMOCION DE ARSENICO III EN EL AGUA CONTAMINADA, MOQUEGUA, 2021"
- Anexo N°03: Instrumentos de recolección de datos para la remoción de arsénico III en el agua contaminada.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENTE 00-20%	REGULAR 21-40%	BUENA 41 -60 %	MUY BUENA 61-80%	EXCELENTE 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresando de manera coherente y lógica según a las leyes y principios científicos					X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de la actualidad					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica en los aspectos de calidad y claridad.					X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.					X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.					X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos					X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre la problemática los objetivos, hipótesis, variables e indicadores.					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde según la metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis					X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.					X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD (marcar X)

☒

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.

☐

El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

¿Qué aspectos se tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

IV. PROMEDIO DE VALORIZACIÓN

85 %

Moquegua, 29 de Agosto del 2021

DNI: 07482588
CEL: 966255191

Anexo N° 4 Informe de ensayo

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021 PÁGINA 1 DE 7

SOLICITANTE	: FLOR AZUCENA CATACORA AREAS
DIRECCIÓN	: JHON F. KENNEDY D-10
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA SUPERFICIAL
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido turbio
CODIFICACIÓN / MARCA	: Ver detalle de codificación en hoja de resultados.
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: Procedencia: UNAM Moquegua
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 28 muestras de 500mL aprox. c/u.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En envases de polietileno cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.9°C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 1409-2021
FECHA DE RECEPCIÓN	: 14/08/2021

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado, según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS, la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 2 DE 7

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T1-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 08:30 hrs. Ph: 6.06, CE:3.2, OD:7.14, NTU:0.36	UNIDADES
FQ		0.05	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T1-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 08:30 hrs. Ph: 6.88, CE:2.7, OD:7.21, NTU:0.23	UNIDADES
FQ		0.05	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T1-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 08:30 hrs. Ph: 6.60, CE:2.8, OD:7.26, NTU:0.23	UNIDADES
FQ		0.05	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T2-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:16 hrs. Ph: 3.81, CE:5.68, OD:8.74, NTU:70.4	UNIDADES
FQ		0.034	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T2-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:16 hrs. Ph: 3.68, CE:5.83, OD:8.84, NTU:78.8	UNIDADES
FQ		0.034	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T2-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:16 hrs. Ph: 3.67, CE:5.84, OD:8.82, NTU:76.2	UNIDADES
FQ		0.034	mg/L

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 3 DE 7

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T3-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:30 hrs. Ph: 8.44, CE: 8.83, OD: 8.83, NTU: 108	UNIDADES
FQ		0.033	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T3-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:30 hrs. Ph: 8.43, CE: 8.82, OD: 8.83, NTU: 123	UNIDADES
FQ		0.033	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T3-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 10:30 hrs. Ph: 8.42, CE: 8.83, OD: 8.87, NTU: 103	UNIDADES
FQ		0.033	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T4-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 11:30 hrs. Ph: 6.00, CE: 60.7, OD: 7.14, NTU: 124	UNIDADES
FQ		0.027	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T4-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 11:30 hrs. Ph: 4.88, CE: 14.1, OD: 7.00, NTU: 88.4	UNIDADES
FQ		0.027	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

:

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 4 DE 7

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T4-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 11:30 hrs. Ph: 4.88, CE:16.4, OD:7.10, NTU:81.6	UNIDADES
FQ		0.026	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T6-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:10 hrs. Ph: 3.84, CE:5.68, OD:7.18, NTU:112	UNIDADES
FQ		0.031	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T6-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:10 hrs. Ph: 3.86, CE:5.68, OD:7.10, NTU:117	UNIDADES
FQ		0.029	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T6-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:10 hrs. Ph: 3.84, CE:5.68, OD:7.04, NTU:176	UNIDADES
FQ		0.028	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:46 hrs. Ph: 3.45, CE:8.61, OD:7.00, NTU:107	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 5 DE 7

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:46 hrs. Ph: 3.48, CE:8.62, OD:7.06, NTU:71	UNIDADES
FQ		0.028	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 16:46 hrs. Ph: 3.48, CE:8.07, OD:7.10, NTU:71	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T7-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 4.88, CE:18.4, OD:7.22, NTU:42	UNIDADES
FQ		0.027	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T7-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 4.80, CE:18.4, OD:7.13, NTU:22	UNIDADES
FQ		0.028	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T7-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 4.87, CE:17.8, OD:7.17, NTU:18	UNIDADES
FQ		0.027	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 17:26 hrs. Ph: 3.83, CE:5.68, OD:8.38, NTU:26	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 6 DE 7

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 17:25 hrs. Ph: 3.65, CE:6.65, OD:8.08, NTU:28	UNIDADES
FQ		0.029	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 17:25 hrs. Ph: 3.63, CE:6.81, OD:8.63, NTU:22	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F1 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 3.48, CE:9.48, OD:8.88, NTU:88	UNIDADES
FQ		0.033	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F2 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 3.44, CE:9.68, OD:8.38, NTU:79	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL Código: T8-F3 - Fecha y hora de muestreo: 13/08/2021 18:30 hrs. Ph: 3.47, CE:9.65, OD:8.43, NTU:89	UNIDADES
FQ		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

:

INFORME DE ENSAYOS N° 4405 - 2021

PÁGINA 7 DE 7

Elemento As

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method 23rd Ed. 2017

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL		UNIDADES
		Código: T1-PT - Fecha y hora de muestreo:	13/08/2021 18:30 hrs.	
FQ	Elemento As		0.030	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento As

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3114-C. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method 23rd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/08/2021 al 20/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 20/08/2021



Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°5

Galería fotográfica



Fotografía 1. Uso de flocculador Lavibond



Fotografía 2. Equipo Multiparámetro



Fotografía 3. Medición de pH y CE



Fotografía 4. Medicion de turbidez



Fotografía 5. Filtrado y llenado de muestras



Fotografía 6. Rotulado de botellas de muestras